

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-225508

(43)Date of publication of application : 12.08.1994

(51)Int.Cl.

H02K 29/08

H02K 21/24

(21)Application number : 05-251147

(71)Applicant : LUCAS IND INC

(22)Date of filing : 13.09.1993

(72)Inventor : MOHLER DAVID B

(30)Priority

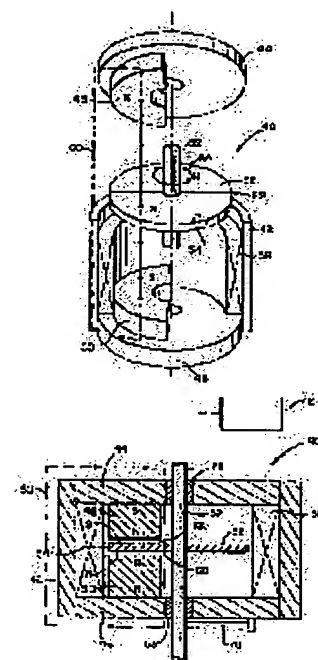
Priority number : 92 957862 Priority date : 08.10.1992 Priority country : US

(54) PERMANENT MAGNET BRUSHLESS TORQUE ACTUATOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To enable bidirectivity excellent in property by providing this actuator with upper and lower stator magnetic poles separated by working space.

CONSTITUTION: Stator magnetic poles (HM) 48 and 50 are in the position related with the rotation of a housing. Permanent magnets 54 and 56 form jointly short cylindrical rotors which are fixed close by each other to an output shaft 52 and rotate together, and both are polarized in parallel in the rotational direction of the output shaft 52, and the polarity is reverse. A coil 58 surrounds HM's 48 and 50, and it is surrounded by a sleeve 42 instead, and both ends of the electromagnetic coil 58 are sandwiched with upper and lower end plates 44 and 46. As a result, when it is excited by an unidirectional current, it goes down the lower HM 50 and passes the lower end plate 46 outward in radial direction, and goes up through the sleeve 42, and passes the upper end plate 44 inward in radial direction, and goes down the upper HM 48. That is, it crosses the first working space, and crosses the second working space through a permanent magnet rotor 62, and returns to the lower HM 50.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 13.09.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 20.05.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of extinction of right]

[0003]

The patent official publication by Mr. Egger discloses many different rotators and stator shapes that provide many torque-angle rotation curves. The amount of rotations is determined on the basis of the generation torque and the power of the spring that resists rotations. By changing the excitation level of the coil, the apparatus can be rotated for only the desired amount of angles. However, it is regrettable that since the apparatus by Mr. Egger operates only on the basis of the principle of permeability increase (an air gap is decreased), only the same operation can be carried out regardless of the polarity of the current flowing in the coil.

[0027]

In one preferred embodiment, the spring 70 is fixed to the lower end plate 46 with a pin, and it is connected with the output axis 52 at the other end, and carries out the action to move the connection portion between the permanent magnets 54, 56 contacting the roughly center position of the stator magnetic pole objects 48, 50 as shown in Fig. 3. This guarantees that when the excitation of the coil 58 is canceled, the actuator can be given displacement toward the center position. Of course, if the direction of current in the coil 58 is reversed, the direction of the magnetic flux shown in Fig. 3 and Fig. 4 and the rotation direction of the output axis 52 are also reversed.

[0028]

On the other hand, in the preferred embodiment shown in Fig. 4 shows the spring 70 that is going to return the rotator to the standard position or the center position (position where the rotator can move in any

direction at the maximum distance freedom), meanwhile as an alternative plan of the mechanical spring 70, there is an electric position sensor shown as a box 72 in Fig. 4 that is well known in the conventional art. This is a position detection sensor that detects the angle position of the output axis 52 by electrostatic, electromagnetic, optical or other means, and when the actual position differs from a necessary position, it emits an error signal, performs a processing, and increases and decreases the coil running current, until it is set to an error zero level or a fixed error level. Probably it is the alternative plan of the mechanical center setting system of the present invention to feed back position information, in order to adjust the coil running current, and this will be clear to those skilled in the art through the above-mentioned argument.

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-225508

(43)公開日 平成 6 年(1994) 8 月12日

(51)Int.Cl.⁵

H 0 2 K 29/08
21/24

識別記号

庁内整理番号

9180-5H

M 7103-5H

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数13 F D (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平5-251147

(22)出願日 平成 5 年(1993) 9 月13日

(31)優先権主張番号 0 7 / 9 5 7 , 8 6 2

(32)優先日 1992年10月 8 日

(33)優先権主張国 米国 (U S)

(71)出願人 593186297

ルーカス・インダストリーズ・インコーポ
レイテッド

アメリカ合衆国、22091-4399 ヴァージ
ニア、レストン、サンライズ・ヴァリー・
ドライブ 11180

(72)発明者 デイヴィッド・ビー・モラー

アメリカ合衆国、45371 オハイオ、ティ
ップ・シティ、ダブリュー・クロウ・ロー
ド 3777

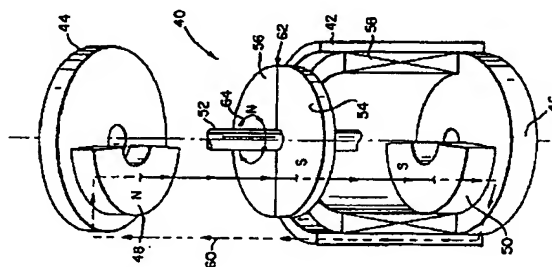
(74)代理人 弁理士 奥山 尚男 (外 2 名)

(54)【発明の名称】 永久磁石ブラシレストルクアクチュエータ

(57)【要約】 (修正有)

【目的】 特性に優れた二方向性を有する永久磁石ブラシレストルクアクチュエータを提供する。

【構成】 永久磁石ブラシレストルクアクチュエータ 40 は励磁された場合長く延びたドーナツ型磁界を発生できる電磁鉄心より構成される。円筒形のコイル 58 の外側にはハウジングあり、その端部には各々上下の端板 44、46 を有する。固定子磁極体 48、50 は端板 48、50 に搭載されて対向され、互いに対向する磁極体 48、50 は空気間隙により隔てられる。磁気回転子 62 は各端板 48、50 に回転自在の軸 52 に取付けられ、相反する極性を有する少なくとも二つの永久磁石 54、56 から成る。一方向の電流によりコイル 58 を励磁すると、二つの磁極体 48、50 の各々は回転子 62 の永久磁石 54、56 の一つを吸引し回転子 62 の他の永久磁石 54、56 を反発するように磁化し、その結果、出力軸 52 にトルクを発生する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 二方向への限定回転運動を行う永久磁石ブラシレストルクアクチュエータにおいて、

(a) 回転軸を有する出力軸と、

(b) π/n (但し、 n は正の整数)の回転方向位置に配置された $2n$ 個の隣接する永久磁石を有し、前記 $2n$ 個の磁石の磁化方向はそれぞれ前記回転軸に平行でありかつ隣接する永久磁石の磁化方向は逆となるように前記出力軸に固定された α 個 (但し、 α は正の整数)の永久磁石回転子と、

(c) 前記回転軸を中心に回転可能に支持する手段、及び、 $\alpha+1$ 個の平面上にそれぞれ n 個配設されて全体数で $(\alpha+1)n$ 個の固定子磁極体を含むハウジングであって、その内部において、各磁極体が π/n の回転円弧に沿って延び、かつ、前記 $\alpha+1$ 個の平面内で同様な回転関係位置と $\alpha+1$ の異なる軸方向位置にあるように配置され、前記平面の各々が、対応する回転子により、軸方向に隣接する平面から分離され、各平面において、前記回転子から前記磁極体を離隔する少なくとも1つの作動空間が設けられている導磁性のハウジングと、

(d) 磁束方向が電流方向によって定まり、始めの固定子磁極体平面から前記作動空間の一つを横断し、続いて交互に配置された回転子と固定子とそれぞれの作動空間を通過し、最後の固定子磁極体平面を通り前記ハウジングを通過して戻る磁束路を形成するための磁束発生用コイルと、

をそれぞれ具備することを特徴とする永久磁石ブラシレストルクアクチュエータ。

【請求項2】 前記回転子内の隣接する永久磁石間の境界が、前記少なくとも二つの固定子磁極体の中間点に対して回転可能に配置されるような基準位置に、前記回転子を附熱するばね手段を更に含むことを特徴とする請求項1に記載の永久磁石ブラシレストルクアクチュエータ。

【請求項3】 前記出力軸の作動位置を検出し、前記コイルを流れる電流を調整し、前記出力軸を所望の位置に動かす位置検出手段を更に含むことを特徴とする請求項1に記載の永久磁石ブラシレストルクアクチュエータ。

【請求項4】 α が2であることを特徴とする請求項1に記載の永久磁石ブラシレストルクアクチュエータ。

【請求項5】 n が2であることを特徴とする請求項1に記載の永久磁石ブラシレストルクアクチュエータ。

【請求項6】 α と n が各々2であることを特徴とする請求項1に記載の永久磁石ブラシレストルクアクチュエータ。

【請求項7】 α が1であり前記 α 個の永久磁石回転子はただ一つの永久磁石回転子を含むことを特徴とする請求項1に記載の永久磁石ブラシレストルクアクチュエータ。

【請求項8】 n が1であり、前記 α 個の永久磁石回転

子は、一回転子あたりただ二つの永久磁石を含むことを特徴とする請求項1に記載の永久磁石ブラシレストルクアクチュエータ。

【請求項9】 前記各磁極体は約180度の回転円弧に沿って配置することを特徴とする請求項8に記載の永久磁石ブラシレストルクアクチュエータ。

【請求項10】 前記ハウジングは円筒型スリーブと二つの端板を含み、これらの端板はそれぞれ前記スリーブの各一端を閉鎖しかつ少なくとも一つの前記固定子磁極体を含むことを特徴とする請求項1に記載の永久磁石ブラシレストルクアクチュエータ。

【請求項11】 前記コイルは円筒形に巻かれた二個のコイルから成ることを特徴とする請求項1に記載の永久磁石ブラシレストルクアクチュエータ。

【請求項12】 α 及び n はそれぞれ1であり、前記一つの永久磁石回転子は二つの永久磁石から成り、前記二つの永久磁石の分極方向は平行であるが逆の極性を有し、前記ハウジングは円筒形スリーブと二つの端板から成り、前記端板は各々前記スリーブの各一端を閉鎖しかつ前記固定子磁極体の一つを含み、前記各磁極体は約180度の回転円弧に沿って配置され、前記コイルは前記スリーブと前記端板の内部に位置する円筒形に巻かれた一個のコイルから成ることを特徴とする請求項1に記載の永久磁石ブラシレストルクアクチュエータ。

【請求項13】 α は1で n は2であり、前記一つの永久磁石回転子は4個の永久磁石から成り、前記4個の永久磁石の相隣るものは分極方向が平行ではあるが互いに逆の極性を有し、前記ハウジングは円筒形スリーブと二つの端板からなり、前記端板は各々前記スリーブの各一端を閉鎖しかつ二つの前記固定子磁極体を含み、前記各磁極体は約90度の回転円弧に沿って配置され、前記コイルは前記スリーブと前記端板の内部に位置する円筒形に巻かれた一個のコイルから成ることを特徴とする請求項1に記載する永久磁石ブラシレストルクアクチュエータ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明はソレノイドロータリーアクチュエータである永久磁石ブラシレストルクアクチュエータに関し、特に、作動コイルと永久磁石ロータとを有し、二方向トルクを発生し得る永久磁石ブラシレストルクアクチュエータに関する。

【0002】

【従来の技術】1969年3月25日付けで発行されたエガー氏の米国特許第3,435,394号公報は、電磁制御装置と呼べる多くの実施例を開示している。これらのものに類似の装置としては、現在、本出願人であるルーカス・インダストリー社 (本特許の譲受人) よりブラシレストルクアクチュエータの名称で市販されている。

これらのアクチュエータは一般にコイルの極性に関

係なく、一方向にのみ電氣的に作動し得る回転要素を内包した単相直流ロータリーソレノイドから成っている。電磁石を励磁すると、回転運動し得る磁極体は引きつけられて装置の電磁回路内で磁束が通過しなければならない空間を最小化する位置に回転する。この結果、予め定めた方向に軸が回転する。

【0003】エガー氏の特許公報は、多数のトルクー角回転曲線を与える多くの異なる回転子及び固定子形状を開示している。回転量は発生トルクと回転に抵抗するばねの力に基づいて決まる。コイルの励磁レベルを変更することにより、希望する角度量だけ装置を回転できる。しかし、残念なことに、エガー氏の装置は導磁性増大の原則（空気間隙を減少する）に基づいてのみ作動するから、コイルを流れる電流の極性に関係なく同じ動作しか行ない得ない。

【0004】最近できたもう一つの回転式アクチュエータはフランスのベサンコン氏により提案された移動磁石技術（Moving Magnet Technologies: MMT）であり、図1及び図2に例示されている。この種のMMTアクチュエータは、約110度の総回転角限度を有する単相直

流コイルアクチュエータで二方向性の機能を有している。図1において符号10でMMTアクチュエータを全般的に示し、図2にはMMTアクチュエータの分解組立図を示す。

【0005】図1及び図2に示すように、別個の電磁コイル12、14は別個の固定子16、18の周りに巻回されている。電磁コイル12、14は固定子16、18を逆の二方向に分極させるように巻回及び／又は励磁がなされるようになっている。固定子16、18と端板20は電磁束の良導体である鉄材料でできている。MMTアクチュエータのハウジング22は、電磁コイル12、14を中側に接着できる非磁性スリーブである。出力軸24は、接着された一組の永久磁石26、28を有する。出力軸24は、端板20とスリーブ22内に適当な軸受け（図示せず）を介して回転可能に取り付けられている。両永久磁石26、28の分極方向（磁化方向）は出力軸24とその回転軸に平行である。しかし、永久磁石26の分極の方向は永久磁石28の分極方向とは正反対である。また、鉄製の磁束キャリア30は出力軸24に結合されて永久磁石26、28に接触している。

【0006】図2を吟味すると、電磁コイル12、14が励磁されない場合は、永久磁石26、28は固定子16、18に向かって軸方向に単に引き寄せられるだけであるから、出力軸24には実質的に正味トルクが働いていないことが分かる。しかしながら、図2に示す如く反対極性の磁束界を発生するように電磁コイル12、14が励磁され、永久磁石26、28間の接合部分が固定子16、18の中間点に向けられた場合には、出力軸24に正味回転力が生じる。

【0007】永久磁石26の下部表面はN極の極性を、

そして固定子16の上表面はS極の極性を示し、かくて永久磁石26は固定子（磁極体）16の方に引き寄せられる。出力軸24は図外の軸受けにより軸方向の移動を抑止されているから、出力軸24は永久磁石26を固定子16と整列させるように回転しようとする。また、永久磁石28の部分も固定子16と重なるが、これらは互いに同極性であることから永久磁石28は固定子16から跳ね退けられる。かくて固定子16に対し永久磁石26は引き寄せられ、永久磁石28は反発され、また固定子18は逆の極性のため、固定子18に対し永久磁石28は引き寄せられ、永久磁石26は反発される。その結果、両永久磁石26、28と両固定子16、18には力が発生し、矢印32で示す方向に正味回転が生ずる。

【0008】MMTアクチュエータの励磁中における磁束路は、図2に示す如く、固定子16を貫通下降して強磁性の端板20を横切り、次いで固定子18を貫通上昇して作動空間を横切り、永久磁石28を通して鉄製の磁束キャリア30を横断し、この後に永久磁石26を貫通下降して更なる作動空間を通り、最終的に固定子16に戻る。勿論、電磁コイル12、14の電流が逆転すれば、磁束流と固定子16、18の上面の極性は逆転し、出力軸の回転方向もまた逆転する。従って、電磁コイル12、14の励磁方向に基づいてMMTにより作動の二方向性が得られ、各方向90度までの角回転が得られる（実際には回転は約55度までだけである）。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】MMTアクチュエータはエガー氏の装置及び他の同様な装置に対する改善ではあるが、固定子16、18が腎臓の形をしている為、最高の効率を得るには電磁コイル12、14は腎臓の形に合うように巻かれなければならない。この様な複雑な巻き方はコイルを適切に形成するため特別な取扱いと取付具を必要とする。電磁コイル12、14は直列にも並列に巻くこともできる。しかし、電磁コイル12、14を直列に巻くようにすると、コイル巻きの問題は悪化するし、コイルを平行に巻いても導線を接続するために二本別々に三ヶ所の結線箇所が必要になる。

【0010】MMTアクチュエータには、磁束キャリア30に要求される条件により、種々の結果生ずる不具合がある。磁束キャリア30は、上述の如く磁束回路を閉鎖する必要があり、出力軸24に搭載されて回転されるように構成しなければならない。残念なことには、磁束キャリア30の鉄材は回転の慣性を著しく増大し、従ってアクチュエータの応答を遅くすることとなる。MMTにおいて鉄製の磁束キャリア30を省略することは、永久磁石28の上面から永久磁石26の上面への電磁束の帰路が磁束伝達度が殆ど無い空気を通じて行われることになるから、得られるトルクを非常に減らすことになる。従って、鉄製の磁束キャリア30を利用する結果としての高い慣性は、MMTアクチュエータを使用するこ

との当然の帰結である。

【0011】興味のある別の装置としては、1991年8月6日に発行されたグラバー氏等の米国特許第5,038,063号公報に開示されたロータリーアクチュエータまたは磁気ばねがある。グラバー氏等の装置は、隣接する磁石が互いに逆の極性を有する（正にMMTアクチュエータにおける如く）複数の磁石に連結された一つの軸を利用するようにしたものである。磁極体は複数の磁石を間に挟みながら相対する各磁極体から互いにずれた位置にあり、励磁された場合、それらは磁極体の二つの円板に対し磁石の位置を片寄せようとする。磁石の強さ、含まれている作動空間、固定子極のズレ角度及び外部よりの励磁レベルは磁石を磁極体と結合させようとする力を決定する。

【0012】好適な実施例においては、一つの軸は磁極体の両セットに結合し他の一つの軸は磁石に結合し、二軸間の結合の度合いは磁気ばねの励磁レベルにより制御できる。グラバー氏等の装置においてはアクチュエータ（またはアクチュエータに対する磁気ばね）として作動する時は、図4a乃至4cに示す極は常に互いに引き離され、回転子円板内の反対極磁石間の接点は上下の対向する固定子の中間点と決して一致しないことが注目される。このズレ（第3欄第63行に述べた1/4極ビッチの）はグラバー氏等の各図面に示されており、第4欄第16～第23行に記すとおり磁氣的復元（求心）力を得るために必要である。

【0013】MMTアクチュエータのやり方で作動する磁氣的に効率的なブラシレストルクアクチュエータ、即ち、作動電流に応じて二方向性を有するが比較的慣性が低く従って励磁電流、振幅または極性の变化に速やかに応答できるものを得ることが望ましい。

【0014】本発明は上記事項に鑑みてなされたものであって、本発明の主目的は二方向性を有するトルクアクチュエータを提供することである。

【0015】本発明の他の目的は、低回転慣性を有するトルクアクチュエータを提供することである。

【0016】本発明の更なる目的は、高効率の磁束回路を有し、特に、MMTタイプのアクチュエータにおける一磁石あたり一つの作動空間に対して一磁石あたり二つの作動空間を備えた磁束回路を有するトルクアクチュエータを提供することである。

【0017】本発明のなお更なる目的は、入力電圧の何れの極性で作動しても、行程の中間点からの作動方向が予測でき、即ち、予定方向にトルクまたは回転を起動させるための何らかの他の補助手段を必要しない曖昧性の無いトルクアクチュエータを提供することである。

【0018】本発明の更に追加する目的は、行程の何れの端からでも反対端に、途中停止またはトルク曲線に磁氣的突起のむらが無くかつ電圧極性を変更すること無く、滑らかに連続作動するトルクアクチュエータを提供

することである。

【0019】

【課題を解決するための手段】上述の目的を達成するために、本発明では、二方向への限定回転運動を行う永久磁石ブラシレストルクアクチュエータにおいて、(a)

回転軸を有する出力軸と、(b) π/n (但し、 n は正の整数)の回転方向位置に配置された2n個の隣接する永久磁石を有し、前記2n個の磁石の磁化方向はそれぞれ前記回転軸に平行でありかつ隣接する永久磁石の磁化方向は逆となるように前記出力軸に固定された α 個 (但し、 α は正の整数)の永久磁石回転子と、(c)

前記回転軸を中心に回転可能に支持する手段、及び、 $\alpha+1$ 個の平面上にそれぞれn個配設されて全体数で $(\alpha+1)n$ 個の固定子磁極体とを含むハウジングであって、その内部において、各磁極体が π/n の回転円弧に沿って延び、かつ、前記 $\alpha+1$ 個の平面内で同様な回転関係位置と $\alpha+1$ の異なる軸方向位置にあるように配置され、前記平面の各々が、対応する回転子により、軸方向に隣接する平面から分離され、各平面において、前記回転子から前記磁極体を離隔する少なくとも1つの作動空間が設けられている導磁性のハウジングと、(d) 磁束方向が電流方向によって定まり、始めの固定子磁極体平面から前記作動空間の一つを横断し、続いて交互に配置された回転子と固定子とそれぞれの作動空間を通過し、最後の固定子磁極体平面を通り前記ハウジングを通過して戻る磁束路を形成するための磁束発生用コイルと、をそれぞれ具備せしめるようにしている。

【0020】すなわち、上記及び他の目的は、作動空間により隔てられた上下の固定子磁極体を設けることにより達成できる。磁極体は同じ一般的回転関係位置にあるよう整列され、空間には出力軸に固定され回転する少なくとも二つの永久磁石を含む回転子が配置されている。永久磁石は分極方向が出力軸に平行でかつ互いに相反する方向に極性を付与されている。電磁コイルは一般的にドーナツ型の磁束流を発生し固定子磁極体の外側、導磁性を有する囲いの内側に配置され二つの固定子磁極体を連絡している。励磁されると、磁束は一つの固定子磁極体から永久磁石回転子を通り対向する磁極体へと一方向に進行し、回転子に引き寄せ、反発の力を生じ、回転子の磁石が適当な極性の磁極体と整列するよう出力軸を回転させる。電流が逆転すると、出力軸の回転方向が逆転し、その結果他の磁石が固定子磁極体と整列する。

【0021】

【実施例】本発明の上記及び他の利点は、添付の図面と共に下記説明により一層明らかになるであろう。なお、同じ参照符号は同じ部品を表すものとする。

【0022】MMTアクチュエータに関する図1及び図2についてはこれまでに詳細な討議が行われた。図3及び図4は、本発明の永久磁石ブラシレストルクアクチュエータ(PMBTA; Permanent Magnetic Brushless T

orque Actuator)を示し、全般的に矢印40で示す。導磁性のハウジングは、スリーブ42と上部及び下部の端板44、46とから構成されている。両端板44、46には、上部及び下部の固定子磁極体48、50がそれぞれ取り付けられている。両固定子磁極体48、50は、ハウジングのほぼ同じ回転関係位置にあること、即ち、互いに向かい合っていることは重要な要件である。

【0023】アルミニウム、プラスチック等の低導磁性材料から成る出力軸52は、ブッシュ53を用いてハウジングに取り付けられ回転する。図示はしていないが、これらのブッシュ53は出力軸52の回転運動は許容するが、軸方向への移動は阻止するものである。出力軸52には二つの永久磁石54、56が取り付けられ、これらは共に磁気回転子62を構成する。図3及び図4に示す実施例において、永久磁石54、56は互いに隣接し、出力軸52に固定され且つ共に回転する短い円筒形回転子を、協同して形成する。一方、永久磁石54、56は同様の構造で両方とも出力軸52の回転方向に平行に分極されるが、その極性は逆である。

【0024】本実施例において、コイル58は両固定子磁極体48、50を囲み、代わりにスリーブ42に囲まれ、電磁コイル58の両端は上下の端板44、46間に挟まれている。その結果、一方向への電流により励磁されると、コイル58は長いドーナツ型の電磁束界(磁界)を図3、図4の矢印60の方向に作り出し、即ち、下部固定子磁極体50を下降して半径方向外側に向けて下部端板46を通り、スリーブ42を通過して上昇し、半径方向内側に向けて上部端板44を通り、上部固定子磁極体48を下降し、第一の作動空間を横断し永久磁石回転子62を通過して第二の作動空間を横断し、下部固定子磁極体50に戻る(磁束はスリーブ42、端板44、46、磁極体48、50の内部をそれぞれ貫通するが、図4の明確な理解のために矢印60はこれら構造の隣接した外部に表示している)。

【0025】永久磁石ブラシレストルクアクチュエータ40の動作は下記の通りである。まず、図3、図4に示す如くコイル58が励磁されると、上部固定子磁極体48の下部表面はN極を示し、従って、永久磁石54のS極を吸引すると共に永久磁石56のN極を反発しようとする。その結果、出力軸52は矢印64の方向に回転する。同様に、永久磁石54の下部表面はN極を示し、下部固定子磁極体50のS極方向に引き寄せられる。更に、永久磁石56の下部表面はS極を示し、これは下部固定子磁極体50の上面により反発される。かくして、上部及び下部磁極体48、50に関連する吸引力・反発力のため、両永久磁石54、56もまた矢印64の方向にトルクを発生し、出力軸52を矢印64の方向に回転しようとする。

【0026】図4で分かる如く、上部作動空間(上部ギャップ)66と下部作動空間(下部ギャップ)68を除

き、磁束は外部スリーブ42、各二つの端板44、46及び磁極体48、50内に完全に内包される。かくして、磁束の発生及び伝播によって、本例の永久磁石ブラシレストルクアクチュエータ40は非常に効率的であり、存在する空間のみが作動空間であり、その作動空間が軸52に捻れ力を発生する。

【0027】1つの実施例において、ばね70は下部端板46にピン止めされ他端で出力軸52に連結され、図3に示す如く固定子磁極体48、50のほぼ中間部に接する永久磁石54、56間の接合部分を中心位置に動かす作用をする。これは、コイル58の励磁が解消された場合、アクチュエータは中心位置に向かって変位を与えられることを保証する。勿論、コイル58内の電流方向が逆転すれば、図3及び図4に示す磁束の方向及び出力軸52の回転方向もまた逆転する。

【0028】一方、図4に示す実施例では回転子をその基準位置若しくは中心位置(回転子が何れの方向にも最大行程自由に動ける位置)に戻そうとするばね70を示しているが、機械的ばね70の代案としては、従来技術で良く知られている、図4に箱72で表示する電気的位置センサがある。これは静電的、電磁的、光学的または他の手段により出力軸52の角度位置を検出する位置検出センサで、実際の位置が所要位置と異なる場合は、誤差信号を発し、処理をして、誤差ゼロまたは既定の誤差レベルになるまで、コイル通電電流を増減する。コイル通電電流を調節するために位置情報をフィードバックすることは、本発明の機械的中心合わせシステムの代案で、このことは上記議論により当業者には明白であろう。

【0029】本発明の磁束通路は、上下の作動空間66、68の軸方向寸法を最小化することにより、また非常に低い導磁性の出力軸52を使用することにより、最適化することができる。もし、出力軸52が高い導磁性を有すると、コイル58により発生された磁束が磁極体48、50と永久磁石回転子62をバイパスし、出力軸52は明らかに追加の磁束通路として作用する。

【0030】図3に示すコイル58が励磁状態の間、回転子62は何等の抵抗力を受けずに、時計方向に理論最大値の90度の回転がなされる。即ち、永久磁石54の全体が上下の固定子磁極体48、50の間に置かれ、その結果、磁束流に対する抵抗は最小となるような状態まで回転する。コイル58内の電流が逆転すると、反対方向への同様な動きが生ずる。従って、装置は理論的には中心位置(ここでは相隣り合う永久磁石54、56間の境界が相対する固定子磁極体48、50の中間点に存するような位置)から±90度の作動範囲を持つことができる。実際的には、回転角度は±55度の範囲内にある。

【0031】もし、角度行程が更に短くて良ければ、回転子62内の磁石数を増加し、またそれによって上下の

10

20

30

40

50

磁極体数を増加して、より強力なトルクを作ることができる。一定のセル（セルは、少なくとも一つの上部固定子磁極体を有する上面と、少なくとも一つの下部固定子磁極体を有する下面と、回転子面とよりなる）に対して、独立磁極体数は回転子内の磁石区分に対する独立磁石数と同じであると言うことは、図3を検討すれば分かるであろう。

【0032】図5及び図6は、多重セルの実施例を示す。ここでは明瞭な理解のために、外部スリーブと電磁石は除外した。ここに二セル型装置を示すが、各セルは二つの磁極体間に挟まれた回転子から成る。図示の実施例では、各平面上に多数の回転子磁極体が例示されている。上部固定子磁極体80、82は、上部固定子極平面を有する。中間固定子磁極体84、86は、中間固定子極平面を有する。中間固定子磁極体84、86は、コイル58の内面の適当な位置に接着できる。これら固定子磁極体84、86は、また、プラスチックスリーブによって電磁コイルかまたは同様な構造物の内面内側を滑らせながら所定の位置に置くことができる。

【0033】下部固定子磁極体88、90は、下部固定子極平面を構成する。上部回転子92は、一つの軸方向に分極された磁石94、96と、これらとは反対の極性を有するように軸方向に分極された永久磁石98、100から成る。下部回転子102は同様な磁石を有する。前述の如く、上部固定子極平面、上部回転子92及び中間固定子極平面は一つのセルを構成し、中間固定子極平面、下部回転子102及び下部固定子極平面は第二のセルを構成する。

【0034】図5の一個のセルの動作を検討すると、図3におけると同様に、異なる平面内の各磁極体はただ90度の回転範囲を有するだけであるが、その回転関係位置に関する限りほぼ整列していることが分かる。特定のセルに関連する回転子は四つの磁石を有し、全ての磁石は出力軸52の回転軸と平行方向に磁化されているけれども、隣接する各磁石は相反する極性を有する。

【0035】中間固定子磁極体84と下部固定子磁極体88の中間点近くに位置する回転子102の磁石94、100の間の接合部分は回転子の中心位置にある。従って、コイルを励磁して矢印60で示す磁界を作ると、出力軸52に矢印64の方向の捻れ力を生ずる。しかしながら、理論的最大回転角度はただ45度で、その点では磁石100は中間磁極体84と下部磁極体88の間に配列されることが分かるであろう。同様にコイル電流が逆転されて磁界が逆転されると、回転も逆方向となり、その結果、磁石区分94は中間固定子磁極体84と下部固定子磁極体88の間に完全に整列される。

【0036】一定平面の中の固定子磁極体数が増加すると、回転トルクもまたかなり増加する。従って、一セル型の実施例の装置（即ち、図5の装置の半分部分）は、図3に示す装置よりストロークが短いがトルクはかなり

増加する。図5において、上下各平面における二個の磁極体とセルあたり四個の磁石を使用することによりトルクが増加するのみならず、前述の如く上下二個のセル全体の結合トルクも生ずる。各セルだけで図3の実施例を越えるトルクの増加をもたらす、二個のセルの結合もまたトルクをかなり増加させ、一方、二つのセルが中間固定子磁極体を共有することによって発生トルクは減少しない。

【0037】従って、図5の実施例の角度ストロークは図3の実施例の場合の約半分であるが、セル内の磁極体数が二倍であることとセル数が二倍であることにより、出力軸52で得られるトルクは十分に四倍になる。同様に、もし図3のより長いストロークを維持しながらトルクの増加を望むならば、その時は第二磁性回転子と第三固定子を有することにより出力トルクを増加できる図3の装置（各平面に一個の固定子磁極体）の二個セル型を推奨する。

【0038】図4が図3の実施例の断面図であるのとはほぼ同様に、図6は図5の実施例の断面図である。図5及び図6は、図3及び図4に示すものに二つの大きな変化を与えたものである。即ち、トルク増加のために固定子極平面に多数の固定子磁極体を使用し、また多数のセルを使用している。明らかに、作動の角度ストロークが小さくて良いのであれば、一定磁極体平面内の固定子磁極体数を増加すれば、角度ストロークの減少の代償の下に大きなトルクを得ることができる。

【0039】セル内の理論的な回転ストロークと磁石数及び固定子磁極体数との間には関係式が成立する。磁極体平面が回転子を挟んでいる場合は、“ n ”が整数であれば、回転子内の隣接する $2n$ 個の磁石と、各磁極体平面内の n 個の固定子磁極体によって理論行程 π/n が達成される。この関係は、二つの磁極体平面の各々が一つ（ $n=1$ ）の磁極体を有する場合（図3に示す場合）に当てはまる事が分かるであろう。この場合には、一個の下部磁極体、一個の上部磁極体と回転子内の二つの隣接する磁石があるだけである。理論的行程角度は、 π/n 、即ち、 π ラジアンで180度または ± 90 度である。

【0040】上記の関係を固定子極平面あたり二つの固定子を有する単一セル装置に適用すると、即ち、 $n=2$ （これは図5に示す二個セル型実施例の一つのセルである）で、隣接磁石は四個（ $2 \times n$ ）で角度ストロークは $\pi/2$ ラジアンまたは90度または ± 45 度となる。セル数を増加しても作動角度ストロークは変わらないが、現行ストローク以上に利用トルクは増大することが注目される。

【0041】幸いにも、セルを追加しても装置としては一個のコイルと端板・軸受けを一組増やすだけで、中間固定子磁極体は二重の働きをする。即ち、隣接する両方の磁性回転子と共に作用できるので、余分のセルの追加

により装置重量が倍増することはない。それ故、二個のセル型装置の重量は、通常、単一セル型装置に比べ2倍にはならない。

【0042】加えて、多重セル型実施例の回転子と固定子平面間には関係式が成立している。固定子平面の数は回転子数より常に一つ多い。従って、 α が整数で永久磁石ブラシレストルクアクチュエータのセル数や回転子数を表示するならば、固定子平面数は $\alpha+1$ である。図3及び図4に示す如く、単一セルの実施例では、 $\alpha=1$ で回転子数もまた α なので、図3の実施例の回転子62は一つである。固定子平面の数は $\alpha+1$ 、即ち、2で正に二つの固定子平面があり、一つは上部固定子磁極体48が他の一つは下部固定子磁極体50が占めている。

【0043】上記の関係を二個セル型実施例に適用すると、 $\alpha=2$ で、装置の回転子数も2である。 $\alpha+1$ は3で正に3個の固定子平面がある。かくて、多重セル型装置は、セル数と回転子数に等しい α と固定子平面数を表す $\alpha+1$ とで特色づけられる。多重磁極体関係と多重セル関係が結合される場合には、 n が固定子平面内の固定子磁極体数を表し、 α がセル数を表すとすると、装置内の磁極体全体の数は $(\alpha+1)n$ となる。各回転子内の磁石の数は $2n$ で磁石の全体数は $2\alpha n$ である。図3及び図5に示す例を参照して簡単な置き換えによって上記の関係を検証することができる。

【0044】図3乃至図6の実施例は図示の磁束を発生する単一コイルを利用するが、多重コイルも利用することができる。多重コイルの利点は、一つのコイルが故障しても装置はなお作動するという改善された余備性能にある。このようなアクチュエータは油圧弁組立品の制御に利用され、該組立品は機体表面の空気力学制御を行う油圧アクチュエータを制御する航空宇宙関係の用途において特に重要である。

【0045】図7は、各セルが各自のコイルを有する多重コイルの実施例を示している。上部電磁コイル104は上部電解108を発生させ、下部電磁コイル106は下部磁界110を発生する。本実施例は中間固定子磁極体112、114は予めコイルの内側端面に接触配置したものであり、これらの中間固定子磁極体112、114がスリーブ42に接続され、それにより、二つのコイル104、106のそれぞれの周りに別個の電磁束通路を作っていることが分かる。実施例においては、図6におけるコイル58の如く二つのコイル104、106が同じスペースを占めるように巻かれており、一つのコイル104又は106が破損した場合、残るコイル104又は106が発生した磁束が図6に示す如く全回路を回るようにすることが有利な構成となる。

【0046】図7は、固定子磁極体112内における相反する半径方向の磁束の流れを示す。これは、中間固定子磁極体112内の軸方向の磁束の流れに比べ比較的小さい。図7の回転子92、102は、コイル104、1

06が励磁されて図示の如く上部、下部の磁界108、110を発生すると、図6の場合と同じ分極を示し、同じ方向のトルクを発生する。しかしながら、永久磁石回転子の一つの極性を逆転し、逆転回転子に接する固定子磁極体内の磁束流界を逆転すると、正反対の磁束流界で同様なトルクを発生することができる。

【0047】図8は、逆の磁束を有する実施例を示す。コイル104、106が図7のコイルと同じ方向に巻かれていると仮定して、コイル106はコイル104とは逆方向の電流が供給されるので、コイル104、106は互いに反対方向のドーナツ型の磁界を発生する。この磁界は、上部固定子磁極体80に生ずるものとは反対の磁極を下部固定子磁極体88に発生する（二つの固定子磁極体間のS・Nの極が逆なことに注目）。

【0048】このため出力軸52に働くのと同方向のトルクを得るには、下部回転子116の相当する極性を上部回転子92の極性に対し逆転させる必要がある。かくて、図8の下部回転子116は、各磁石の極性が逆転していることを除けば図5の下部回転子102と同様に四個の永久磁石を有することになる。この極性の逆転は回転子92の左側の磁石に対する引き出し線“S”，“N”と下部磁性回転子116の左端磁石の引きだし線“N”，“S”で表示されている。

【0049】図8の実施例において、中間固定子磁極体112を通る磁束は増加することが注目される。上部回転子92内の極性に対する下部回転子116内の極性の逆転と、固定子磁極体88、112を通る磁束の逆転によって、下部回転子116により生ずるトルクは上部回転子92によるトルクと同じ方向となり、かくして、類似の単一セル型アクチュエータにより得られるトルクに、これを超える増加トルク分がさらに加算された大きなトルクを得ることができる。

【0050】図4に関して上述したように、図6、図7及び図8において矢印により指示された磁界は、スリーブ42、端板44、46及び磁極体80、84、88、89、112の内部にあるが、磁界を明瞭に表示するためそれらの外部に描いてある。これらの実施例においては、図4の場合と同様に、永久磁石及び磁極体と共に回転トルク発生に役立つ種々の作動空間の短絡を避けるため、非磁性の磁束伝達出力軸が望まれる。

【0051】

【発明の効果】MMT（移動磁石技術）アクチュエータは一磁石当たりただ一つの空気間隙しか持たない（磁石の上部から出る磁束は鉄の磁束キャリアにより半径方向の隣接する磁石に伝達される）という点において、本発明の上記実施例はMMTアクチュエータに対し明白な利点を有することが分かる。更に、電流が流れる間にMMT装置の磁極体が逆の極性を有するためには、少なくとも二つの別個のコイルが必要となる。複雑さがこのように増すことによって更にコストが増大し、作業効率が減

少する。

【0052】これに対し、本発明に係る永久磁石ブラシレストルクアクチュエータによれば、作動コイル中における電流方向を変化することにより真の二方向性を供給することによってMMTアクチュエータ等の困難を克服し、また好適な実施例においては長く延びたドーナツ状の磁束を発生する一個の円筒形巻きコイルを利用することができる。また、MMT装置の二つの腎臓型コイルに比べ、その様なコイル一つを作り巻き付けする簡単さは、製造コストを劇的に減少する。更に、MMT装置の一磁石当たり一つの作動空間に比べ、一磁石当たり二つの作動空間を使用し永久磁石回転子を利用することによる効率化により、電磁効率の増加がもたらされる。

【0053】永久磁石ブラシレストルクアクチュエータの多くの実施例や修正は、特定のトルクや回転行程等の要求事項に基づいて行われた議論や添付図面によって当業者には明かであろう。例えば、非常に高いトルクの装置は、多数のセルを利用でき、また、比較的短いストロークで良ければ、各固定子極平面において複数の固定子磁極体を利用できる。実際には、上記二つの組み合わせにより一層高いトルク発生能力が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来技術のMMTアクチュエータの部分断面側面図である。

【図2】図1のMMTアクチュエータの分解斜視図である。

【図3】本発明に係る永久磁石トルクアクチュエータの分解斜視図である。

【図4】図3に示す本発明に係る永久磁石ブラシレストルクアクチュエータの断面図である。

【図5】本発明の別の実施例を示すものであって二つの回転子を備えた永久磁石ブラシレストルクアクチュエータ

* タの分解斜視図である。

【図6】図5に示す永久磁石ブラシレストルクアクチュエータの断面図である。

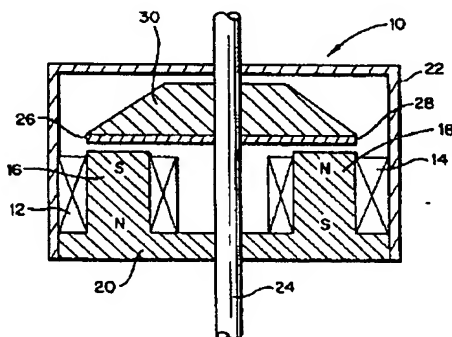
【図7】本発明の更に別の実施例を示すものであって、二つの回転子を備えた永久磁石ブラシレストルクアクチュエータの分解斜視図である。

【図8】本発明の更に別の実施例を示すものであって、二つの回転子を備えた永久磁石ブラシレストルクアクチュエータの分解斜視図である。

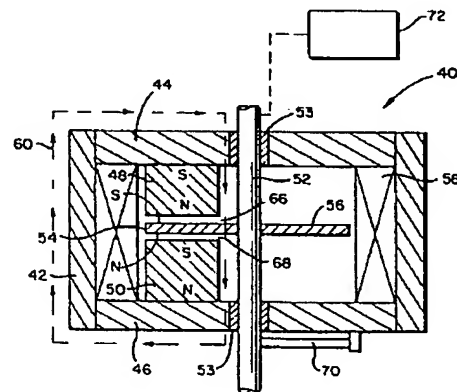
【符号の説明】

- 40 永久磁石ブラシレストルクアクチュエータ
- 42 スリーブ
- 44, 46 端板
- 48, 50 固定子磁極体
- 52 出力軸
- 54, 56 永久磁石
- 58 コイル
- 62 磁気回転子
- 66 上部作動空間
- 68 下部作動空間
- 70 ばね
- 72 電氣的位置センサ
- 80, 82 上部固定子磁極体
- 84, 86 中間固定子磁極体
- 88, 90 下部固定子磁極体
- 92 上部回転子
- 94, 96, 98, 100 永久磁石
- 102 下部回転子
- 104 上部コイル
- 106 下部コイル
- 112 固定子磁極体
- 116 下部回転子

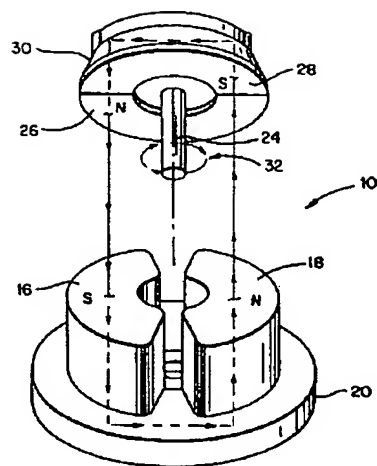
【図1】



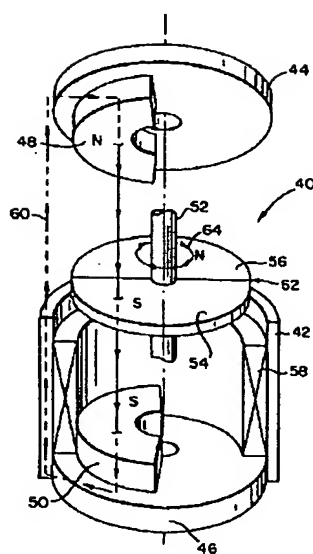
【図4】



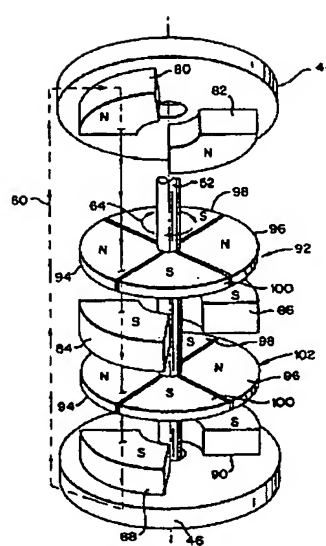
【図2】



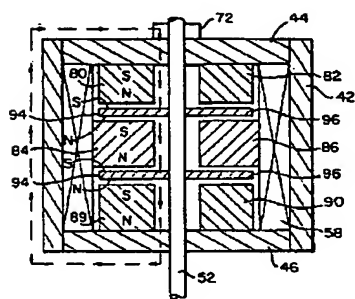
【図3】



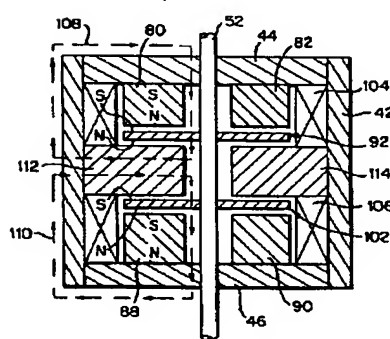
【図5】



【図6】



【図7】



【図8】

